MORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR STRUKTURBILDUNG AN EINIGEN BODENTYPEN AUS LÖSS

von

H.-J. ALTEMUELLER

(Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Deutschland. Direktor : Prof. Dr. H. Frese)

Die durch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge sowie durch Gefrieren von Erdbodenproben modellmässig hergestellten plattigen und polyedrischen Strukturelemente, wie sie von *Czeratzki* und *Frese* (1) gezeigt wurden, haben grosse Aehnlichkeit mit den Formen, die auch an Naturböden gefunden werden. Allerdings unterliegt der Boden in der freien Natur ständig wechselnden Einflüssen von strukturaufbauenden und strukturzerstörenden Kräften. Diese sind über lange Zeiträume wirksam und überlagern sich vielfach gegenseitig. Es ist daher verständlich, dass in der Strukturausbildung der Böden auch mancherlei Abwandlungen gegenüber den Modellformen zu beobachten sind. Dabei ist die Beschaffenheit des Bodenmaterials von ausschlaggebender Bedeutung.

An einer Reihe von Bodentypen aus Löss aus der Umgebung von Braunschweig zeigten sich Beziehungen zwischen bestimmten Strukturbildungen und dem Entwicklungsgrad der Böden, über die im folgenden kurz berichtet wird. Es handelt sich dabei um

1. eine Schwarzerde,
2. eine gebleichte Parabraunerde und
3. einen Podsol-Stagnogley (s. Abb. 1).

Der Nomenklatur liegen die Vorschläge *Mückenhausens* (2) zugrunde. Die ersten beiden Böden sind unter Ackerkultur, der dritte unter Laubwald (fast reiner Bestand von Fagus silv.)

Die *Schwarzerde* besitzt einen etwa 70-80 cm tief reichenden grauschwarz bis schwarz gefärbten, humosen A-Horizont und anschliessend einen C-Horizont aus gelbem, karbonathaltigem Löss. Etwa 30 cm der Oberen Krumenschicht sind unter Ackerkultur. Dann folgt eine Zone mit plattiger Struktur, die beim Graben leicht in die Einzelaggregate zerfällt. Nach der Tiefe lockert sich der Boden auf und wir finden ein krümeliges und porenreiches Schwammgefüge. Dieser Unterhorizont ist stark von Bodentieren aufgearbeitet. Aus der Abb. 2 ist zu ersehen, dass die Tongehalte im A-Horizont sehr hoch sind. Die Verlehmung dieser Schwarzerde ist also trotz der noch vorhandenen starken Humusfärbung schon weit vorangeschritten.

Die *Parabraunerde* enthält dagegen nur wenig Humus und ist im oberen Teil des Profiles stark an Tonsubstanz verarmt. Dadurch ist eine deutliche Trennung in einem hellen gelblichgrauen Verarmungshorizont A_3 und einen rötlichbraunen Anreicherungshorizont B wahrzunehmen.

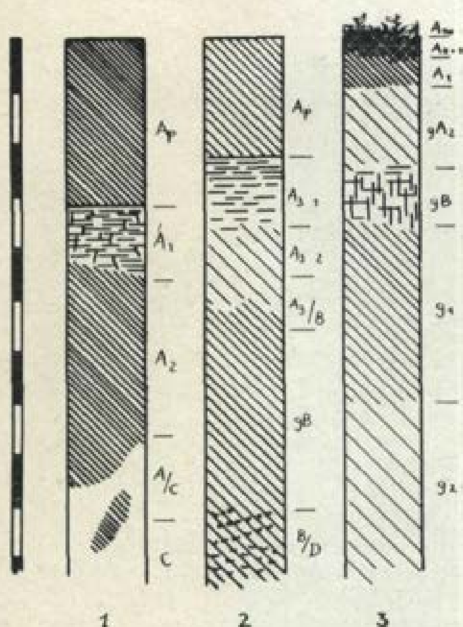
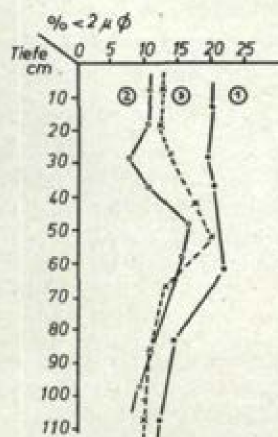


ABB. 1

Schematische Darstellung der untersuchten Bodentypen :

1. Schwarzerde.
2. Gebleichte Parabraunerde.
3. Podsol-Stagnogley.

ABB. 2



Die Ackerkrume fällt hier durch eine etwas dunklere Färbung auf. Unter der Pfluggrenze ist ebenfalls eine Zone mit plattiger Struktur ausgebildet. Dann folgt wieder eine Auflockerung, die aber mit dem Uebergang zum dichten B-Horizont rasch abnimmt. Die Struktur des letzteren ist vorwiegend unregelmässig polyedrisch. Das gesamte Profil ist völlig entkalkt. Ein ähnlicher Verarmungsprozess ist auch im dritten Profil, dem *Podsol-Stagnogley* vonstatten gegangen (Abb. 2). Durch starke Staunässe sind jedoch die Profilmerkmale weitgehend verändert. Dazu kommen Unterschiede durch die andere Kulturart. Zuoberst liegt eine dünne Laubdecke. Darunter folgt eine etwa 4 cm mächtige Moderschicht und dann mit langsamem Uebergang ein heller bräunlich bis grauweisser Bleichhorizont gA_2. Verstreut kommen Konkretionen und wenige Flecken von Eisenhydroxyd vor. Anschliessend ist ein stark verdichteter und verkitteter dunkelgrauer bis graubrauner Horizont ausgebildet, der als B-Horizont einer beginnenden Podsolierung aufgefasst wird, gleichzeitig aber stark marmoriert ist. In diesem fallen scharf ausgeprägte Strukturformen von plattiger bis kantig-prismatischer Form auf. Baumwurzeln finden sich darin nur in Spalten in kümmerlicher, farnblattartiger Ausbildung. Der folgende G_1-Horizont ist wieder porenreicher und hat ein dichtes, regelloses Schwammgefüge. Die Farbe ist grünlich-grau und von zahlreichen rostgelben Flecken und Eisenhydroxyd-Konkretionen durchsetzt. Nach der Tiefe nimmt die Porosität ab. Auch die Rostflecken werden weniger, und es überwiegt helles grünlichgraues Bodenmaterial. In etwa 80 cm Tiefe ist noch etwas Kalzium-Karbonat in Gestalt von kleinen Konkretionen vorhanden.

Alle drei Böden besitzen in etwa 30 cm Tiefe eine Zone mit mehr oder weniger ausgeprägten kantig begrenzten Strukturformen, deren Entstehung vornehmlich dem Bodenfrost zuzuschreiben ist. Bei den Ackerböden liegt sie unter der Pflugschicht und wird von dieser nach oben begrenzt. Im Waldboden bildet sie einen selbständigen Horizont. Die Strukturformen dieser Zonen sollen hier näher untersucht werden. Dazu sind in Tabelle 1 einige Analysendaten angegeben.

Betrachten wir zuerst die Aggregate der *Schwarzerde*. Obwohl die horizontale Spaltrichtung überwiegt, sind auch senkrecht oder schräg nach unten verlaufende Spalten häufig zu beobachten. Dadurch entstehen Strukturelemente, die allseitig natürliche Begrenzungen aufweisen. Ihre Oberflächen sind zumeist glatt, wie es für Frostaggregate typisch ist. Gelegentlich finden sich dünne schwarzbraune kolloidale Ueberzüge und verursachen ein schwaches Glänzen. Die Form der Aggregate ist plattig bis polyedrisch und lässt eine gewisse Aehnlichkeit mit den Strukturbildungen der Tonböden erkennen. Durch die verhältnismässig hohen Tongehalte besitzt der Boden ein Quellvermögen und die Fähigkeit, beim Trocknen Kontraktionsrisse zu bilden. *Czeratzki* (3) hat bereits erwähnt, dass auch bei der Eislinsenbildung eine Entwässerung im Bodeninneren und damit eine seitliche Schrumpfung stattfindet, wodurch sich die bei Frost auftretenden senkrechten Spalten in quellfähigen Böden zum Teil erklären lassen. Unter dem Mikroskop ist zu beobachten, dass die Feinsubstanz im Boden teilweise zu Fliessbewegungen neigt und Hüllen sowie Ueberzüge Einzelkörnern, Porenwandungen und Spaltflächen ausbildet. Dadurch werden die Gemengteile miteinander verkittet und bleiben als Aggregate der beschriebenen Form lange im Boden erhalten. Es ist anzunehmen, dass Quellungs- und Schrumpfungsbewegungen immer wieder dieselben Spalten aufreissen lassen. Die letzteren werden daher zu bevorzugten Leitbahnen des Bodenwassers.

Mit der Degradation der Schwarzerde und dem Uebergang zu den Parabraunerden ändern sich die Verhältnisse. Die beweglichen Plasmateile werden nach der Tiefe verlagert und bilden dort den beschriebenen Anreicherungshorizont. Durch Tonverarmung im Oberboden und abnehmenden Humusgehalt wird die Stabilität geringer (vergl. Tab. 1). In den plattigen Horizonten verlieren die Skelettbestandteile ihre Bindesubstanz und werden vom durchströmenden Wasser aus den Oberflächen der Aggregate freigewaschen. Dadurch kommt es zur Anlagerung von Bleichsand, wie es ähnlich schon *Kubiena* (4) beschrieben hat. An anderer Stelle konnte schon gezeigt werden, dass für die Bildung von Bleichsand nicht unbedingt podsolige Prozesse verantwortlich gemacht werden müssen (5).

TAB. 1

Bodentyp	Horizont	Tiefe cm	Tongehalt %	Aggregatstabilität (*) mm ∅				Humusgehalt(**) %
				5-2	2-1	1-0.2	0.2	
Schwarzerde. . .	A_1	35-40	20.0	88.65	3.15	4.85	3.35	2.9
Gebleichte Parabraunerde . . .	A_3-1	25-30	8.0	27.85	12.85	37.00	22.30	0.5
Podsol - Stagnogley	gB	25-30	14.4	65.5	9.85	15.0	19.65	1.65

(*) Aggregate von der Grösse 2-5 mm sind durch Nass-Siebung nach vorausgegangener Befeuchtung im Vakuum in die angegebenen Klassen zerfallen. Angaben in % der Einwaage.
(**) Gesamthumus durch nasse Verbrennung mit Kalium-Bichromat.

Im Verlauf der weiteren Entwicklung verändert sich auch der Charakter der Spaltenbildung. In der *gebleichten Parabraunerde* sind praktisch nur horizontal angelegte Spalten zu beobachten. Die senkrechte Spalttendez fehlt. Infolgedessen sind die entstehenden Strukturelemente nur nach oben und unten natürlich begrenzt während sie an den Seiten, wenn die Spalten nicht zufällig zusammenlaufen, untereinander verbunden bleiben und nur durch Brechen aus dem Verband gelöst werden können. Die Aggregatformen sind rein plattig. Die Oberflächen erscheinen unter dem Mikroskop sandig rauh. Die geringe Stabilität dieses Bodens gegen Wasser lässt die durch Frost gebildete Struktur während des Auftauens wieder teilweise zerfallen. Die Spalten bleiben zwar im ganzen erhalten, werden aber durch locker angelagerten Feinsand überdeckt, so dass die durch Eislinsen hervorgerufenen charakteristisch glatten Flächen nur noch an wenigen Stellen zu erkennen sind. Im Dünnschliff kommt die lose Bindungsform der Mineralkörner besonders deutlich zum Vorschein. Plastische, hüllenbildende Tonsubstanzen sind praktisch nicht mehr vorhanden.

In dem *Podsol-Stagnogley* sind dagegen die Strukturformen in einer Schärfe ausgebildet, die den Modellversuchen gleichkommt. Da eine ähnliche Tonverarmung stattgefunden hat, ist die gute Erhaltung der Strukturen nur durch nachträgliche Verkittung möglich. An der Zusammensetzung dieser Kittsubstanzen sind Eisenhydroxyde und Humusstoffe beteiligt. Es bedarf dazu aber noch weiterer Untersuchungen.

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Horizonten ist hier die senkrechte Spalttendenz gegenüber der horizontalen vorherrschend. Da die Tongehalte geringer sind als in der Schwarzerde, können Schrumpfungsbewegungen dafür nicht allein verantwortlich gemacht werden. Ohne dass die Ursachen im Einzelnen schon bekannt wären, kommt uns hier aber die Beobachtung *Czeratzki's* zu Hilfe, dass in Modellversuchen die senkrechte Eislinsenbildung bevorzugt eintritt, wenn Wasser im Ueberschuss vorhanden ist. Dies ist bei dem sehr staunassen Boden ohne Zweifel der Fall. Die gebildeten Spalten und Aggregate sind durch die Verkittung in besonderem Masse fixiert. Wenn die angegebenen Stabilitätszahlen geringer sind, als bei der Schwarzerde, so rührt dies daher, dass der Horizont nicht ganz einheitlich beschaffen ist.

An den Oberflächen der Aggregate sind Strukturierungen ausgebildet, die darauf hinweisen, dass aufmürbende Kräfte von den Spalten her im Gange sind. Ein Teil der Spaltflächen ist völlig glatt und lässt die erwähnten scharfen Kanten entstehen. Auch Ueberzüge von Eisenhydroxyd sind zu beobachten. In anderen Spalten sind blanke Feinsandkörner eingelagert, ähnlich, wie es bei den Degradationsformen der Schwarzerde beschrieben wurde. Diese können entweder aus dem darüberliegenden Bleichhorizont hereintransportiert, oder aus den Aggregatflächen herausgelöst sein. Auffallend ist nun, dass sich die Mineralkörner in einer gesetzmässigen Verteilung finden. In kleiner Menge sind sie bogig oder tropfenartig angeordnet; bei grösserer Anzahl dagegen netzartig verbreitet. Hierdurch zeigt sich das Bild einer Art von Wabenstruktur. Bei näherer Betrachtung weisen sich die Netzräume als schalige Höhlungen aus. Auf der gegenüberliegenden Spaltfläche ist dieselbe Zeichnung zu finden und die Höhlungen haben dort ein genau entsprechendes Gegenstück. Dieser Umstand erlaubt Schlüsse auf deren Entstehungsweise zu ziehen. Bei grösseren Niederschlägen nach vorausgegangener Trockenzeit läuft das überschüssige Wasser vornehmlich in den Spalten nach der Tiefe ab. Dadurch erfolgt eine starke Befeuchtung der Aggregate von den Oberflächen her. Die eingeschlossene Luft entweicht in kleinen Bläschen aus dem Boden, ist aber in den Spalten nur wenig beweglich. Die vorhandenen freien Mineralkörner ordnen sich hierbei rings um die Bläschen an, wie dies bei Verschlämmungsvorgängen an der Oberfläche beobachtet werden kann. Da die Ausdehnungsmöglichkeit nach der Seite durch den anstehenden Boden begrenzt ist, kann sich der Vorgang nur in einer Ebene auswirken, und es bildet sich hierdurch die beschriebene Anordnung.

Treten in solche Spalten Wurzeln ein, dann werden die Kittsubstanzen in den angrenzenden Gefügeteilen angegriffen, und es bilden sich Bleichzonen aus. In diesen findet parallel zu den Spaltflächen eine feinschiefrige Aufmürbung statt, die nun wieder Aehnlichkeit mit jenen Vorgängen zeigt, die durch wechselnde Befeuchtung und Trocknung an Bodenoberflächen beliebig erzeugt werden können. Es sind im Bodeninnern Aggregate zu beobachten, die ringsum an den Oberflächen derartige Feinschieferungen aufweisen.

Während auf der einen Seite die ungünstige Strukturform durch Witterungseinflüsse und die Tätigkeit von Wurzeln aufgelockert wird, ist aber an anderen Stellen auch zu bemerken, dass Strukturen, die ursprünglich aus lockerem Bodenmaterial gebildet sein müssen, aufs neue verkittet werden.

Betrachten wir nach solchen Beobachtungen wieder die Aggregatoberflächen der voraus geschilderten Böden, so zeigen sich dort vielfach Ansätze zu ähnlichen Bildungen. Wegen andersartigen bodenbedingten Voraussetzungen kommen sie aber zumeist nur zu einer unvollständigen Ausbildung.

Bei diesen Untersuchungen darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass auch andere Faktoren an der Strukturentstehung beteiligt sind. Wo es aber möglich ist, gewisse Vorgänge unbeeinflusst von Nebenwirkungen zu studieren, wird das Erkennen und Deuten bestimmter Bodenstrukturen sehr erleichtert. In diesem Sinne soll das Nebeneinander von Modellversuchen im Laboratorium und Beobachtungen am gewachsenen Boden zu einem besseren Verständnis der vielfältigen in der Natur vorkommenden Strukturformen beitragen.

LITERATUR

(1) CZERATZKI W. u. FRESE H. Kinematographische Untersuchungen zur Strukturbildung. Berichte zum 6. Kongress der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Paris 1956 (im Druck).

(2) MUECKENHAUSEN E. Entwurf einer Systematik der Böden Deutschlands. Als Manuskript gedruckt März 1955.

(3) CZERATZKI W. Zur Wirkung des Frostes auf die Struktur des Bodens. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 72. (117.), 15-32, Weinheim 1956.

(4) KUBIENA W.L. Micropedology, 243 S. Ames, Iowa 1938.

(5) ALTEMUELLER H.J. Mikroskopische Untersuchung einiger Löss-Bodentypen mit Hilfe von Dünnschliffen. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde (im Druck).

ZUSAMMENFASSUNG

Löss-Bodentypen der Umgebung von Braunschweig enthalten in bestimmten Horizonten plattige bis polyedrische Strukturformen, deren Entstehung vor allem der Wirkung des Bodenfrostes zuzuschreiben ist. An drei Beispielen werden Beziehungen erläutert, die zwischen der unterschiedlichen morphologischen Ausbildung der Aggregate und dem Entwicklungszustand der Böden bestehen. Hierbei wird auf Laboratoriumsversuche zur Erzeugung von Strukturformen durch Frost bezw. wechselnde Befeuchtung und Trocknung, über die *Czeratzki* und *Frese* berichtet haben, Bezug genommen.

SUMMARY

Morphological studies of structure formation of some typical loess soils (Brunswick country) are reported here.

Their structural aspects going from lamellar to polyhedral characters must be attributed to frost effects.

Three examples are given and also laboratory experiments reported by Czeratzki and Frese about structure genesis caused by the effects of frost or moisture-dryness alternations.

RÉSUMÉ

Dans les différents horizons des types de sols sur loess de la région de Brunswick, on observe des formes de structure allant de lamellaire à polyédrique; leur origine doit être attribuée surtout à l'action du gel. Sur trois exemples nous étudions les relations entre la morphologie des agrégats et les conditions de développement du sol. On se réfère aussi aux essais de laboratoire rapportés par Czeratzki et Frese sur la genèse des structures par l'action du gel ou d'alternances d'humectation et de dessiccation.